



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

VYUŽITÍ SENZORŮ V AUTOMATIZACI

USE OF SENSORS IN AUTOMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kiza

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Blecha, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Jakub Kiza**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Radim Blecha, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití senzorů v automatizaci

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Senzorika je nedílnou součástí automatizace. Student se seznámí s možnými druhy senzorů, jejich praktickým nasazením a možnými způsoby řízení.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše stavu vědy a techniky v oblasti průmyslových senzorů v automatizaci.

Systémový rozbor průmyslových senzorů, jejich výhody a nevýhody.

Analýza možností implementace průmyslových senzorů.

Vlastní závěry z provedené analýzy.

Seznam doporučené literatury:

SICK: Produktové portfolio [online]. Praha: SICK spol. s r.o., 2018 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/c/PRODUCT_ROOT

BALLUFF: Senzorová technika [online]. Praha: Balluff CZ s.r.o., 2018 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <http://www.balluff.com/local/cz/products/sensors>

KEYENCE: Senzory a systémy monitorování [online]. Itasca: KEYENCE CORPORATION OF AMERICA, 2018 [cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/ss/ds/cz/sensors.jsp>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca obsahuje súhrn a prehľad stavu techniky priemyslových senzorov v oblasti automatizácie. Náplňou práce bolo vykonať rozbor priemyslových senzorov a následne rozviesť ich možnosti použitia v automatizácii. Rozbor bol vypracovaný na základe osobitných druhov senzorov, ktoré boli rozdelené podľa ich fyzikálneho princípu. Pomocou nadobudnutých informácií o princípoch a činnosti daných senzorov bolo následne možné uviesť ich hlavné výhody a nevýhody. Využitie vedomostí o princípoch činnosti a vlastnostiach senzorov umožní správne navrhnutie a implementovanie senzora do praxe. Vypracovaná bakalárska práca teda prináša súhrn informácií o senzoroch a uľahčí čitateľovi výber senzora k potrebnej aplikácii.

ABSTRACT

This bachelor thesis contains a summary and conclusion of technical conditions of industrial sensors in the automatization field. The objective of this thesis is to analyze industrial sensors and subsequently list possibilities of their utilization in the automatization. This analysis was performed based on particular kind of sensors which were divided in accordance to their physical qualities. As a result of acquired research regarding principles and function of these sensors, it is possible to specify the essential advantages and disadvantages of the sensors. This acquired research allows for accurate usage and implementation of sensors in the engineering practice. Therefore, this thesis offers a summary of sensor information which can assist a reader to choose the proper sensor for particular applications.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Priemyslová automatizácia, automatizácia výroby, senzorika, senzory, aplikácie senzorov

KEYWORDS

Industrial automation, automation of production, sensory, sensors, applications of sensors

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KIZA, J. *Využití senzorů v automatizaci*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2019, 48 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.

POĎAKOVANIE

Vďaka patrí pánovi Ing. Radimovi Blechovi, Ph.D. za vedenie a vhodné usmernenie pri tvorbe tejto bakalárskej práce a taktiež ďakujem svojej rodine za podporu a umožnenie štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Radima Blechy, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 23.5.2019

.....

Jakub Kiza

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	MOTIVÁCIA.....	13
3	SENZORY V AUTOMATIZÁCIÍ.....	15
3.1	Prehľad a základné rozdelenie senzorov	16
3.1.1	Delenie senzorov podľa meranej veličiny	16
3.1.2	Delenie senzorov podľa využívaného fyzikálneho princípu	16
3.1.3	Delenie senzorov podľa styku senzora	16
3.1.4	Delenie senzorov podľa energie	16
3.2	Základný princíp činnosti senzora	17
3.3	Inteligentný senzor.....	17
3.4	Indukčné senzory	19
3.4.1	Princíp činnosti indukčných senzorov	19
3.4.2	Výhody a nevýhody indukčných senzorov.....	20
3.4.3	Využitie a príklady implementácie indukčných senzorov	21
3.5	Kapacitné senzory	21
3.5.1	Princíp a činnosť kapacitných senzorov	22
3.5.2	Výhody a nevýhody kapacitných senzorov	23
3.5.3	Využitie a príklady implementácie kapacitných senzorov	23
3.6	Ultrazvukové senzory	24
3.6.1	Princíp a činnosť ultrazvukových senzorov	24
3.6.2	Výhody a nevýhody ultrazvukových senzorov	25
3.6.3	Využitie a príklady implementácie ultrazvukových senzorov	25
3.7	Magnetické senzory	26
3.7.1	Princíp a činnosť magnetických senzorov	27
3.7.2	Magnetické senzory s Hallovou sondou	27
3.7.3	Magnetické senzory s magnetorezistorom	27
3.7.4	Výhody a nevýhody magnetických senzorov	28
3.7.5	Využitie a príklady implementácie magnetických senzorov	28
3.8	Optické senzory	29
3.8.1	Princíp a činnosť optických senzorov.....	30
3.8.2	Výhody a nevýhody optických senzorov.....	32
3.8.3	Využitie a príklady implementácie optických senzorov.....	32
3.8.4	Optický rotačný enkodér	33
4	ZÁVER.....	35
5	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	37
6	ZOZNAM SKRATIEK A OBRÁZKOV	43
6.1	Zoznam skratiek.....	43
6.2	Zoznam obrázkov	43

1 ÚVOD

V dnešnom svete, kde vedecko-technický pokrok je rapídne rýchly, čoraz viac preniká automatizácia, ako do všetkých typov industriálnych sfér, tak aj do nášho bežného, každodenného života. Požiadavky trhu a rýchlosti výroby sa zvyšujú a preto v každej výrobe nájde uplatnenie automatizácia. Tým pádom automatizované zariadenia môžeme nájsť kdekkoľvek, či už v strojárstve, v elektronike, v automobilovom priemysle, potravinárskom priemysle, medicíne, poľnohospodárstve, ale aj pri našich všedných úkonoch ako napríklad automatizované otváranie dverí, regulovanie klimatizácie izby alebo aj splachovanie toalety.

Automatizácia je veľkým aspektom pre spresnenie, zefektívnenie a uľahčenie výroby no je sťažka predstaviteľná bez senzorov. Všade, kde sa realizuje automatizácia sú vyžadované senzory, ktoré umožňujú detekovať predmety a regulovať systémy. Keďže množstvo aplikácii senzorov je nespočetne veľa, tak navrhnutie senzora na daný účel býva niekedy obtiažné. Avšak na dnešnom trhu existuje mnoho výrobcov senzorov, u ktorých je možné nájsť mnoho druhov a veľké množstvo prevedení senzorov. Vďaka nim je veľké spektrum možností výberu senzora na konkrétny problém. Preto je vhodné poznať princípy činnosti senzorov pre správne navrhnutie merania a použitia senzorov v praxi.

V tejto bakalárskej práci sa dočítame o informáciach o senzoroch, nájdeme vytvorenú analýzu a charakteristiku snímačov, klasifikáciu senzorov, ich vlastnosti, špecifické výhody, slabiny a príklady využitia v oblasti automatizácie.

2 MOTIVÁCIA

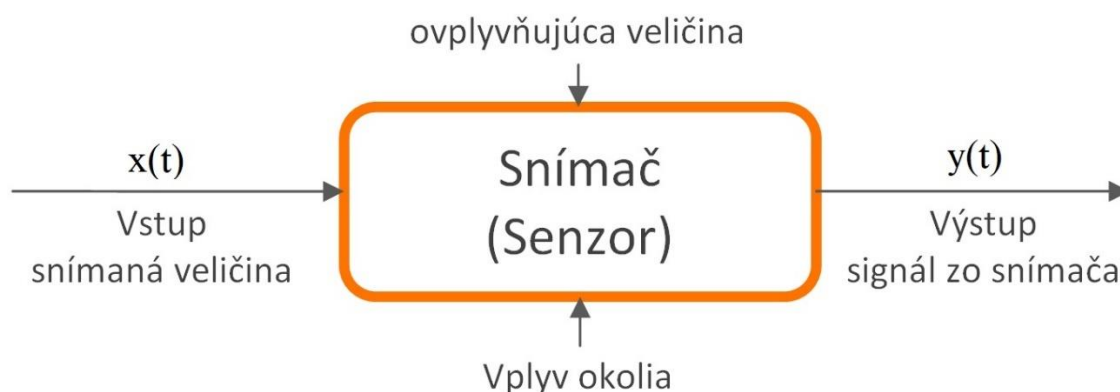
Už v skorej mladosti pri prvých stykoch s automatizovanými zariadeniami bdela vo mne zvedavosť ako vlastne fungujú. Pamätám si dobu, keď v mojom rodnom meste otvorili prvý obchodný dom a zautomatizované otváranie dverí a spúšťanie vody z kohútika na mňa pôsobilo ohromujúco a futuristicky. Túto tému som si vybral a vypracoval z dôvodu zvedavosti a chcenia nadobudnúť bližšie informácie v oblasti fungovania a využitia senzorov.

3 SENZORY V AUTOMATIZÁCI

Senzory či snímače sú podstatnou a neoddeliteľnou súčasťou moderných automatizovaných sústav a zariadení. Ak sa pozrieme do akejkoľvek fabriky, či na akýkoľvek stroj, nájdeme tam určite veľké množstvo rôznych senzorov. [1]

Senzor má za úlohu prevádzať meranú fyzikálnu veličinu na inú, ľahšie spracovateľnú veličinu. Základom činnosti senzora je premena energie. Poväčšine ide o prevod vstupnej fyzikálnej veličiny na výstupný elektrický signál a to napomáha k ďalšiemu spracovaniu nadobudnutých údajov. Samozrejme však existujú snímače výhradne na inom fyzikálnom princípe, napr. na mechanickom, pneumatickom, či hydraulickom princípe. Po zhrnutí predošlých tvrdení tak: Snímač je zariadenie, ktoré sníma meranú fyzikálnu, chemickú alebo biologickú veličinu x a transformuje ju na mieronosnú, užívateľom porozumiteľnú a potrebnú výstupnú veličinu y (viď. obrázok 1). [1] [2]

Ako jeden z príkladov môžeme uviesť meranie tlaku kvapaliny v potrubí. Pri meraní tlaku snímačom teda užívateľ vidí číslo predstavujúce hodnotu tlaku, výstupom snímača je digitálna informácia pre ďalšie potreby spracovania informácie. Podobným spôsobom vieme napríklad zistiť prítomnosť súčiastky na definovanom mieste, odmerať hladinu kvapaliny v nádobe, zistiť rýchlosť pohybujúceho sa telesa a mnoho iných aplikácií. [1]



Obr. 1) Základný princíp senzora [1]

3.1 Prehľad a základné rozdelenie senzorov [1] [3]

Vedomosti o princípoch činnosti senzorov pomôžu získať poznatky o snímačoch pre meranie údajov, pomôžu poznať aplikácie fyzikálnych javov u senzorov a takisto umožnia správne navrhovanie meracích postupov a správne použitie senzorov v praxi.

3.1.1 Delenie senzorov podľa meranej veličiny

Delenie senzorov podľa meranej veličiny na senzory:

- Teploty
- Tlaku
- Prietoku
- Mechanických veličín (posunutie, poloha, rýchlosť, zrýchlenie, síla a i.)
- Elektrických a magnetických veličín a i.

3.1.2 Delenie senzorov podľa využívaného fyzikálneho princípu

Delenie senzorov podľa využívaného fyzikálneho princípu na senzory:

- Mechanické (tepelná rozťažnosť, zotrvačnosť osy, odstredivá a Coriolisová sila)
- Odporové
- Indukčné
- Kapacitné
- Magnetické
- Ultrazvukové
- Optoelektronické
- Optické vláknové a i.

3.1.3 Delenie senzorov podľa styku senzora

Delenie senzorov podľa styku senzora na senzory:

- Proximitné (bezdotykové)
- Taktilné (dotykové)

3.1.4 Delenie senzorov podľa energie

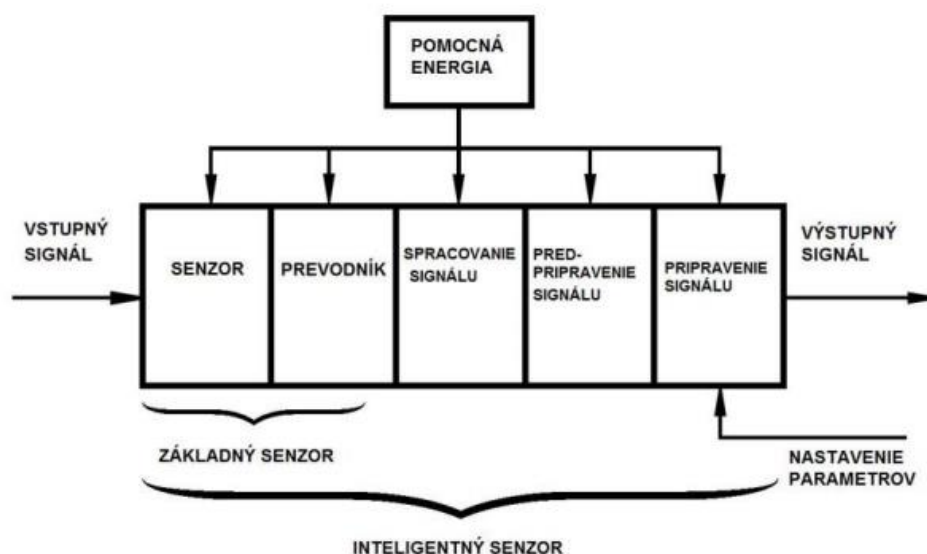
Delenie senzorov podľa energie na senzory:

- Aktívne (generátorové) – svoju činnosť vykonávajú bez pomocného napájacieho zdroja (snímač ako zdroj energie)
- Pasívne (parametrické) – potrebujú pomocný napájací zdroj. Na snímači sa menia elektrické parametre (odpor, indukčnosť, kapacita, fáza a pod.)

3.2 Základný princíp činnosti senzora

Senzor sa obyčajne skladá z niekoľko funkčných častí vytvárajúcich tzv. merací reťazec. V ňom vstupná časť, ktorá je v priamom styku s prostredím a je citlivá na snímanú fyzikálnu veličinu, sa nazýva čidlo. Stretávame sa aj s ekvivalentným označením pre senzor ako napr. snímač, detektor. [4]

Merací reťazec je súbor meracích prvkov účelovo usporiadaných tak, aby bolo čo najlepšie získať informáciu o meranej veličine. Najčastejšie merací okruh tvorí snímač – prevodník – eventuálne vyhodnocovacia jednotka. Najdôležitejším členom meracieho reťazca je senzor, ktorý je prvok samotného snímača v ktorom sa uskutočňuje prevod vonkajšej fyzikálnej veličiny na neunifikovaný signál. Senzor teda vytvára hlavnú hranicu medzi vonkajším podnetom a obvodmi nasledujúceho spracovania informácie. Prevodník vyhodnocuje a prevádza signál zo senzora na elektricky unifikovaný signál. Unifikácia analógových signálov je štandardizovaná na hodnoty 0-10 V DC (jednosmerného prúdu) pre napäťový unifikovaný signál, alebo 4-20 mA pre prúdový unifikovaný signál. Pri možnosti ďalšieho spracovania signálu meranej veličiny sa využíva vyhodnocovacia jednotka s výstupom. Princíp blokovej schémy základného a inteligentného senzora je zobrazený na obrázku 2. [3] [5]



Obr. 2) Bloková schéma senzora [6]

3.3 Inteligentný senzor

Nazývame ho taktiež aj SMART senzor. Tento senzor v sebe zahrňuje čidlo, obvody pre úpravu signálu, A/D prevodník, mikroprocesor pre spracovanie a analýzu signálu, a nakoniec obvody pre komunikáciu s okolím. Tieto jednotky a ich poradie sú zobrazené v blokovej schéme inteligentného senzora na obrázku 3. [5]

Výhody inteligentných senzorov:

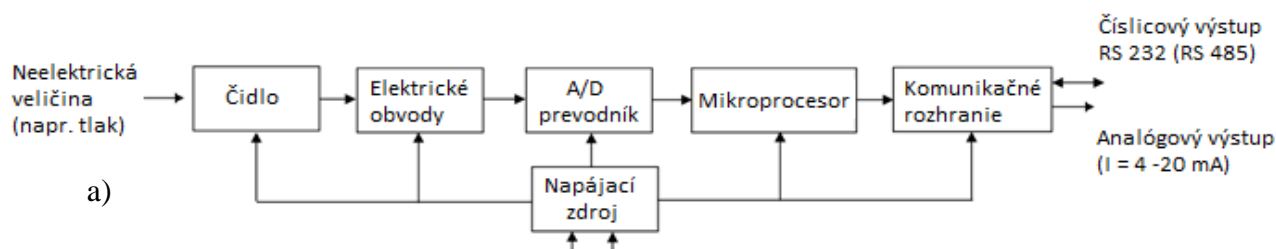
- Presun úlohy merania a spracovania do miesta senzoru (lokálne predspracovanie a prvotné testovanie platnosti údajov)

- Vybavené elektronikou, pomocou ktorej je možno osobitné snímače kompletne nastaviť
- Možnosť nastavenia presnejšieho rozsahu [7]

Nevýhody inteligentných senzorov:

- Vyššia cena
- Obmedzené použitie v ťažkých podmienkach (vysoké teploty, agresívne prostredie, magnetické pole, atď.) [7]

SMART senzor v porovnaní so starším prevedením senzora sa vyznačuje možnosťou veľkého preťaženia, linearitou, vysokou presnosťou a dobrou stabilitou. Porovnanie prevedenia SMART senzora a základného senzora je zobrazené na obrázku 3.



Obr. 3) a) Bloková schéma inteligentného senzora [7]

b) Porovnanie inteligentného senzora so starším prevedením [8] [9]

3.4 Indukčné senzory

Indukčné senzory sú pomerne dosť známe a svoje uplatnenie nájdu v aplikácii v širokej oblasti priemyselovej automatizácie. Aj vďaka ich širokému uplatneniu, výrobou indukčných senzorov sa venuje každá významná firma z oblasti senzoriky v automatizovanom priemysle.

Indukčné senzory (viď. obrázok 4) tvoria veľkú skupinu pasívnych (parametrických) senzorov. Pre svoju činnosť využívajú tieto senzory vysokofrekvenčné elektromagnetické pole. O indukčných senzoroch je možno povedať, že tieto senzory umožňujú takmer akékoľvek bezkontaktné meranie bez spätného pôsobenia mechanického pohybu elektricky vodivých predmetov na vzdialenosť niekoľko desiatok mm. Indukčné senzory sa vyznačujú vysokou prevádzkovou spoľahlivosťou, dlhou životnosťou, jednoduchou a bezpečnou montážou. Ich najväčšou výhodou je, že dokážu ideálne a dlhodobo plniť svoj účel v prašnom alebo inak znečistenom priemyselnom prostredí. [3] [10] [11]



Obr. 4) Prevedenia indukčných senzorov [12]

3.4.1 Princíp činnosti indukčných senzorov

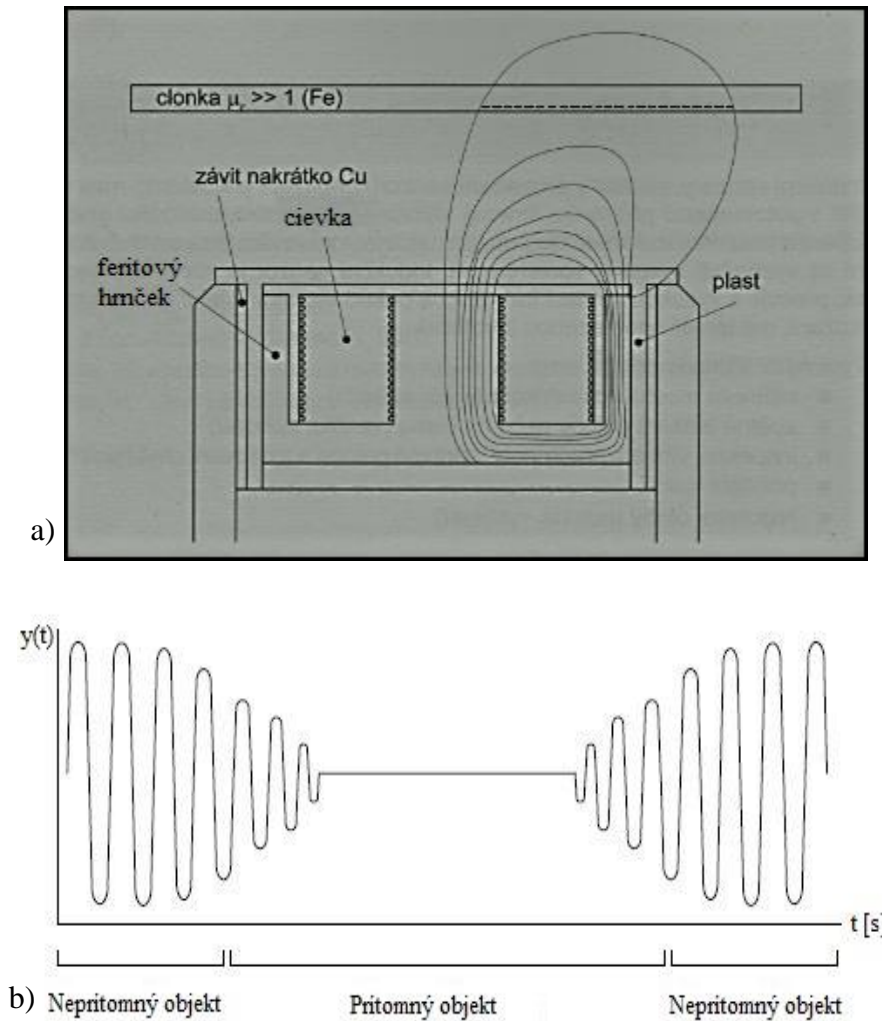
Cievka situovaná na jadre polovice feritového hrnčeka je aktívnym prvkom indukčného senzora. Cievkou preteká vysokofrekvenčný striedavý prúd vytváraný oscilátorom a generuje tak magnetické pole, ktoré vystupuje z otvorenej čelnej strany hrnčeka. Princíp činnosti indukčných snímačov je vznik elektrického napätia v cievke, ktorá je situovaná v nestacionárnom magnetickom poli. Indukované napätie sa riadi Faradayovým zákonom:

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1)$$

V tejto rovnici člen U_i vyjadruje indukované napätie [V], Φ je magnetický indukčný tok [Wb] a t čas [s]. Faradayov zákon vyjadruje, že indukované napätie medzi koncami vodiča sa rovná zápornej časovej zmene magnetického indukčného toku. [13] [14]

Ak kovový objekt vstúpi do poľa, siločiarly magnetického poľa zmenia svoj tvar (viď. obrázok 5) a to spôsobí zaťaženie senzora, čím sa zníži amplitúda elektromagnetického poľa. V prípade ďalšieho približovania kovového objektu sa vírivé prúdy magnetického poľa zvyšujú, čím sa zväčšuje zaťaženie oscilátora a zároveň znižuje amplitúda poľa (viď obrázok 5). Ako aj kovový objekt môže zapríčiniť zmenu magnetického poľa, tak aj pohyb cievky v nemeniacom sa magnetickom poli. Senzory

prvého typu nazývame elektromagnetické a senzory druhého typu sú senzory elektrodynamické. Obe skupiny patria medzi aktívne (generátorové) snímače. [13]



Obr. 5) a) Priebeh magnetických siločiar u čela indukčného senzora bez kovovej clonky a s kovovou clonkou (prerušovaná čiara) [14]

b) Zmena amplitúdy elektromagnetického poľa cievky v prítomnosti kovového objektu [15]

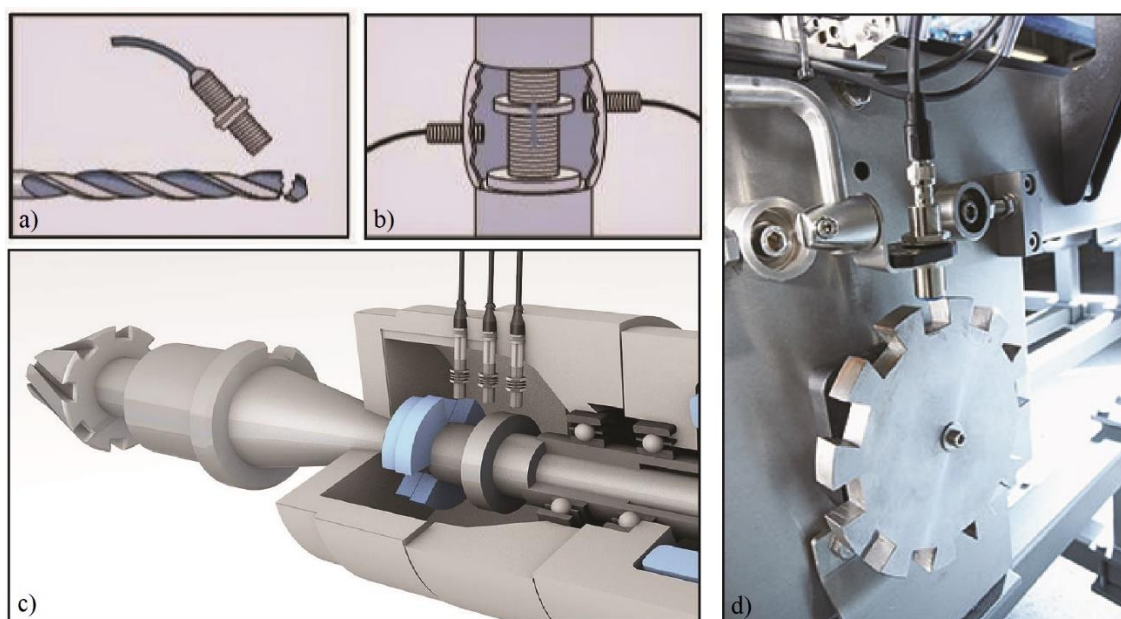
3.4.2 Výhody a nevýhody indukčných senzorov [12] [16]

- Spínacia vzdialenosť štandardne 0,2 až 15 mm (max. 60 mm pre špeciálne prevedenia)
- Snímanie len kovových predmetov
- Ignorujú vodu, olej, a nekovové predmety
- Vysoká prevádzková spoľahlivosť, prakticky neobmedzená životnosť
- Účinnosť v prašnom a znečistenom prostredí
- Bezproblémové použitie v extrémnych podmienkach (výbušných prostrediach)
- Priaznivá cena a ľahko dostupné na trhu
- Pracovná teplota: -25 až 75 °C (podľa typu)
- Cena štandardného prevedenia so spínacou vzdialenosťou 8 mm je zhruba 1500 Kč

3.4.3 Využitie a príklady implementácie indukčných senzorov [12] [16] [17]

- Detekcia prakticky každého mechanického pohybu kovového materiálu
- Detekcia natočenia, otáčania a vyosenia
- Detekcia posunu
- Kontrola pozície predmetu
- Kontrola hrúbky materiálu
- Rozpoznávanie objektov s prítomnosťou kovu
- Detekcia pohybu kolies automobilov (ABS, ESP)
- V obrábacích strojoch
- V dopravníkoch
- V montážnych linkách

Príklady niektorých implementácií indukčných senzorov sú zobrazené na obrázku 6.



Obr. 6) a) Kontrola zlomeného vrtáku [18] b) Detekcia otvoreného alebo zatvoreného ventilu [18] c) Kontrola vyosenia [18] d) Monitorovanie rýchlosti a zrýchlenia [19]

3.5 Kapacitné senzory

Kapacitné senzory zabezpečujú bezkontaktné a bez spätného pôsobenia detekovanie, prípadne meranie priblíženia predmetov na niekoľko desiatok mm. Montážou a prevedením sa zhodujú s indukčnými senzormi, no ich najväčšou výhodou je možnosť detekovať prakticky ktorýkoľvek materiál (vodivý či nevodivý materiál). Kapacitný senzor (viď obr. 7) ideálne vyhovuje k meraniu hladiny náplne kvapalín a sypkého materiálu. [20] [21]



Obr. 7) Kapacitný senzor [22]

3.5.1 Princíp a činnosť kapacitných senzorov [3] [4]

Kapacitný senzor je tvorený dvoj- alebo viacelektrodovým doskovým kondenzátorom, u ktorého sa mení kapacita pod vplyvom pôsobenia vonkajšieho podnetu.

Pre kapacitu ideálneho rovinného doskového kondenzátora platí uvedený vzťah:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \quad (2)$$

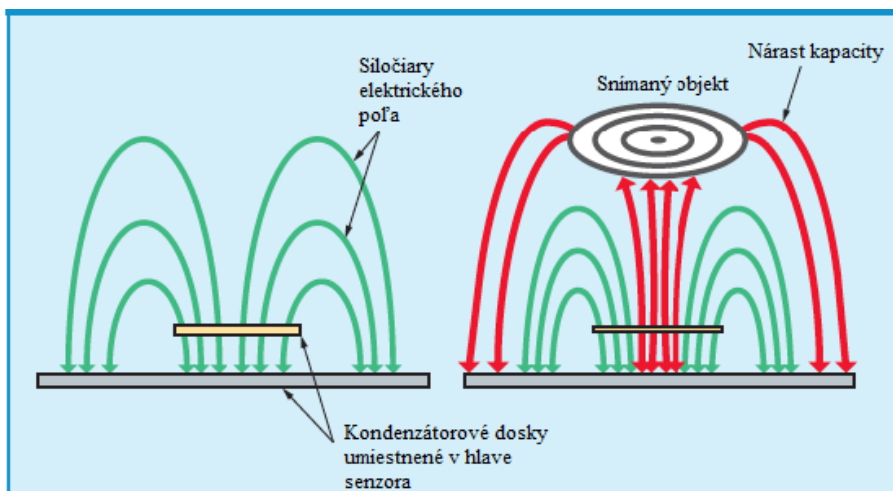
kde ε_0 je permitivita vákua [F/m], ε_r je relatívna permitivita prostredia, S plocha dosky kondenzátora [m^2] a vzdialenosť d [m] medzi doskami.

Kapacitné senzory odpovedajú na zmenu kapacity, ktorá vzniká v prípade priblíženia snímaného objektu do elektrického poľa kondenzátora. Zmena kapacity na doskovom kondenzátore je znázornená na obrázku 8.

Aktívna plocha kapacitného senzora je tvorená dvoma sústredne situovanými elektrodami. V prípade, že nie je prítomný žiaden objekt, kapacita je nízka, preto je aj amplitúda kmitania malá. Pri približovaní snímaného objektu k aktívnej ploche senzora objekt vstupuje do elektrického poľa vytvoreného elektrodami a to s zapríčiní vzrast kapacity (viď. obrázok 23) medzi elektrodami a obvod začne vďaka tomu oscilovať.

Komparátor je ďalším prvkom kapacitného senzora, ktorý zaisťuje spínací výstupný signál. Pokiaľ je potrebný výstupný signál analógový, tak v obvode nie je zapojený komparátor.

U kapacitných senzorov je zavedená nastavovateľná spätná väzba vzhľadom k rozličnej permitivite materiálu. Vďaka tejto premennej väzbe je možný výberový výber materiálu.



Obr. 8) Princíp činnosti kapacitného senzora [23]

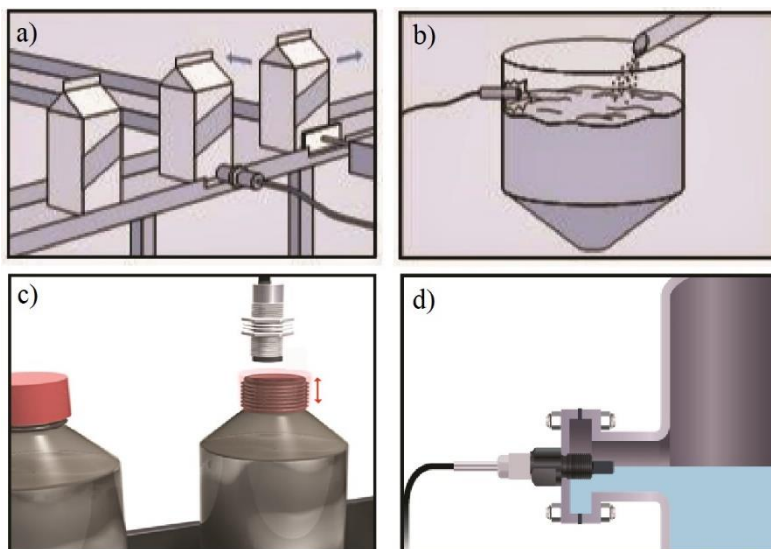
3.5.2 Výhody a nevýhody kapacitných senzorů [24] [25] [26]

- Spínací vzdálenost pro standardní provedení: 1 – 25 mm
- Vysoká rychlost spínání
- Reagují na libovolné materiály (kovové, nekovové, sypké, kvapalné, pevné)
- Možnost selektivního výběru snímaného materiálu
- Možnost snímat cílových objektů cez nekovové steny
- Odolnost voči poruchám, dlhá životnosť
- Vysoká odolnosť proti rušeniu. Nereagujú na nečistoty, prach a hmlu vo vzduchu, takisto nereagujú na magnetické vplyvy
- S puzdrom z ušľachtilej oceli sú odolné voči vysokým teplotám až 250 °C
- Odolné voči vysokému tlaku až 150 bar
- Cena štandardného provedenia s dosahom 8 mm sa pohybuje okolo 1400 Kč

3.5.3 Využitie a príklady implementácie kapacitných senzorů [20] [21] [24]

- Snímanie polohy predmetů, vlhkosti, tlšťky atď.
- Snímanie stavu kvapalných, pastovitých, granulátových a práškových médií
- Detekcia hladín kvapalín, napr. aby nedošlo k preplneniu nádrže alebo chodu naprázdno
- Baliace stroje
- Sledovanie jednotiek a presné nastavenie pozície na dopravníku
- V montážnych linkách – nastavenie pozície
- Kontrola obsahu fliaš
- Kontrola chodu čerpadla na sucho
- Detekcia farby

Príklady niektorých implementácií kapacitných senzorů sú zobrazené na obrázku 9.



Obr. 9) a) Kontrola obsahu krabíc [18] b) Nepriame (cez stenu nádoby) sledovanie stavu hladiny [18]
c) Kontrola správnej pozície uzáveru [27] d) Priame sledovanie stavu hladiny [28]

3.6 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory (viď. obrázok 10) zabezpečujú všestranné a presné meranie. Ich všeobecnou výhodou je možnosť veľmi presného naladenia. To znamená, že obecné nerobí problém detekovať určitý predmet a zároveň už ignorovať objekty umiestnené v pozadí. V aplikáciách detekovania objektu je možné využiť ultrazvukové senzory všade tam kde indukčné a kapacitné senzory už nevyhovujú. Pre svoju činnosť využívajú ultrazvukový signál, vďaka tomu tieto senzory dokážu snímať objekty rôznych tvarov pod rôznym snímacím uhlom a objekty akéhokoľvek materiálu. Avšak aj tieto senzory majú svoje obmedzenie a to, nemožnosť snímať vo vákuu a snímať objekty s hladkým povrchom kde dochádza k rozptylu vysielaného ultrazvukového lúča. [29] [30]

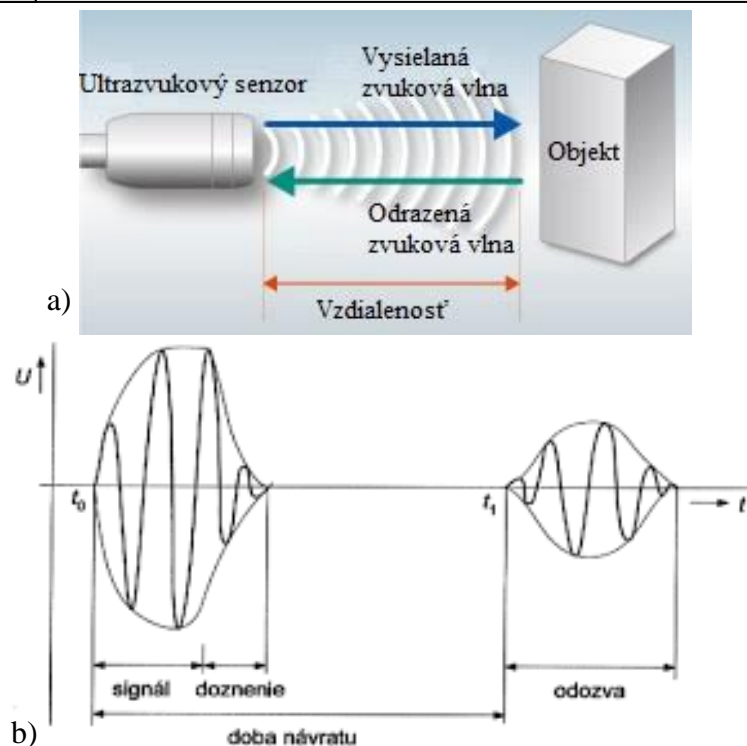


Obr. 10) Ultrazvukové senzory [30]

3.6.1 Princíp a činnosť ultrazvukových senzorov

Ultrazvukové senzory využívajú pre svoju činnosť vysielanie a odraz ultrazvukových vln. Čidlom týchto senzorov je ultrazvukový menič, ktorý vytvára vysokofrekvenčné zvukové vlny a zachytáva echo, ktoré je odrazené od detekovaného objektu. [4]

Ultrazvukovým meničom je keramický kotúč, ktorý je mechanicky spojený s akustickou membránou, tento princíp nazývame piezokeramický menič. Privedenie vysokofrekvenčného striedavého napätia na povrch keramického kotúča vyvolá zmenu rozmeru keramického kotúča, ktorá spôsobí prehnutie akustickej membrány – vyslanie ultrazvukového signálu. Tento zvukový pulz 10 až 20 periód, sa odrazí od snímaného objektu a odrazené zvukové vlny spôsobia mechanické napätie na piezokeramickom kotúči, čo vytvorí vysokofrekvenčné napätie. Následne spätne zachytený signál meničom sa porovná s vyslaným signálom. Pokiaľ je totožný, je možné na základe dĺžky časového intervalu medzi vyslaným a prijatým signálom a na základe rýchlosti zvuku v určitom prostredí zistiť vzdialenosť snímaného objektu. Princíp ultrazvukového senzora je znázornený na obrázku 11. [4] [29] [31]



Obr. 11) a) Princíp ultrazvukového senzora [32] b) Princíp ultrazvukovej detekcie objektu vyslaním zvukového pulzu a detekciou odrazenej odozvy [33]

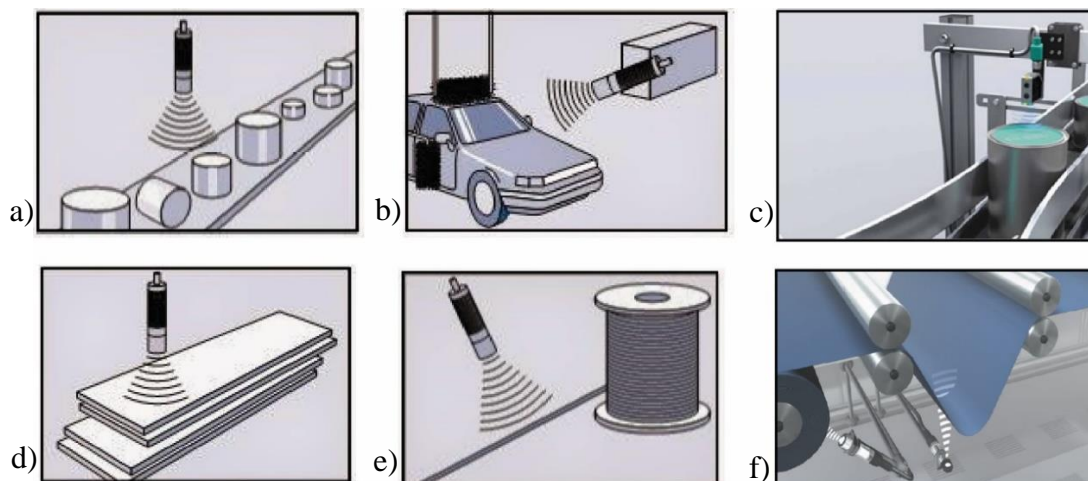
3.6.2 Výhody a nevýhody ultrazvukových senzorov [29] [34]

- Spínací dosah od 30 mm do 8 000 mm
- Snímanie všetkých typov predmetov a všetkých druhov materiálov
- Necitlivosť voči nečistotám, prachu, vlhkosti a hmle
- Relatívne veľký rozsah prevádzkovej teploty (do 70 °C)
- Obtiažnosť snímať hladké povrchy (rozptyl vysielaného ultrazvuku)
- Nemožnosť použitia vo vákuu
- Cena senzora štandardného prevedenia so spínacou dĺžkou 2 000 mm sa pohybuje zhruba okolo 4300 Kč

3.6.3 Využitie a príklady implementácie ultrazvukových senzorov [33] [35]

- Snímanie polohy ľubovoľných materiálov, vrátane priehľadných
- Počítanie výrobkov
- Detekcia posunu
- Kontrola kvality
- Kontrola odvíjania rolky
- Detekcia pretrhnutia kábla
- Montážne linky
- Dopravníky
- Sledovanie úrovne hladiny materiálu (sypký, kvapalný, pevný)

Príklady niektorých implementácií sú zobrazené na obrázku 12.



Obr. 12) a) Kontrola kvality [36] b) Detekcia vozidla a kontrola správnej pozície [36]
c) Sledovanie úrovne hladiny [37] d) Snímanie výšky stohu e) Monitorovanie pretrhnutia
káblu [36] f) Monitorovanie previsu a odvíjania fólie [38]

3.7 Magnetické senzory

Magnetický senzor funguje na princípe zmeny magnetickej indukcie, reagujú na prítomnosť predmetov z feromagnetického materiálu. Jednou z prednostných výhod, ktorou sa aj líšia od indukčných senzorov je, že dokážu snímať objekty aj cez nemagnetické kovové materiály (hliník, zlato, drevo a pod.). Majú taktiež pomerne veľký dosah a ma menšie rozmery. Vykazujú vysokú rezistenciu voči znečistenému prostrediu, korózii, mechanickému opotrebovaniu a preto sa vyznačujú aj dlhšou životnosťou. Najčastejšie využitie magnetických senzorov je pre detekciu polohy pohonov, zväčša u translačných pneumatických a hydraulických. Rôzne druhy prevedenia magnetických senzorov sú zobrazené na obrázku 13. [39] [40]



Obr. 13) Rôzne prevedenia magnetických senzorov [41]

3.7.1 Princíp a činnosť magnetických senzorov

Magnetické senzory využívajú na svoju činnosť zmenu indukcie magnetického poľa. Pre tieto senzory sa ako čidlo používajú magnetorezistory alebo Hallové sondy. Princípy týchto čidiel sú popísané v nasledujúcich dvoch podkapitolách. [4]

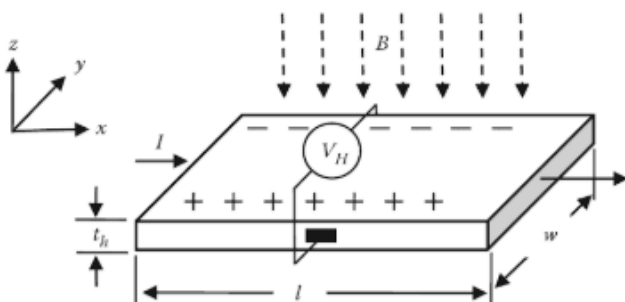
Mnoho výrobcov však často ani neuvádza na akom princípe ich magnetické senzory fungujú, pretože vo väčšine aplikácii na tom nezáleží.

3.7.2 Magnetické senzory s Hallovou sondou

U týchto senzorov sa ako fyzikálny princíp využíva Hallov jav). [4]

Najbežnejšie je Hallová sonda tenká pravouhlá polovodičová dosička typu P. Blízkosť magnetického poľa spôsobuje vznik magnetického toku, ktorý spôsobuje presun nosičov náboja (elektrónov, diery) na opačné strany polovodiča. Vďaka tomu vzniká naprieč dosičky rozdiel potenciálu. [42]

Pokiaľ sa v blízkosti Hallovej sondy nenachádza žiadne magnetické pole, nosiče nábojov sa pohybujú priamo po priamke. Avšak v prípade prítomnosti magnetického poľa majú tieto častice zakrivenú trajektóriu, čo spôsobí hromadenie nosičov náboja na opačných stranách dosičky. Hromadenie opačne nabitých častíc na jednotlivých stranách spôsobí vznik napätia – Hallovo napätie - V_H (viď. obrázok 14). Vzniknuté napätie je zvyčajne veľmi nízke, v radoch mikrovoltov. Táto hodnota však stačí k aktivácii integrovaného zosilovača, ktorý vytvára použiteľný elektrický signál. Princíp Hallovho javu na plochej dosičke je znázornený na obrázku 14, kde V_H je vzniknuté Hallovo napätie [V], B je magnetická indukcia [T] a I je elektrický prúd [A].



Obr. 14) Princíp Hallovho javu [43]

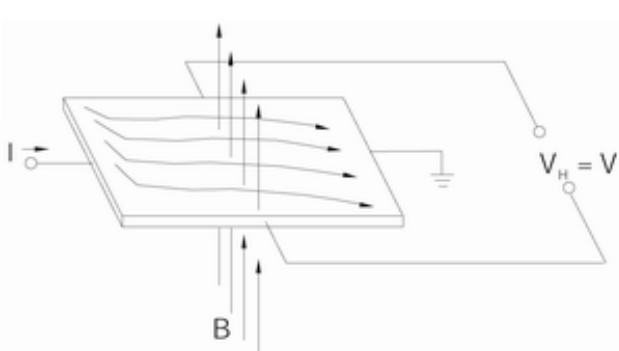
3.7.3 Magnetické senzory s magnetorezistorom

Čidlom týchto magnetických senzorov je magnetorezistor, nad ktorým sa pohybuje permanentný magnet. Magnetorezistor (viď. obrázok 15) je prvok, ktorý využíva magnetoodporový jav – jeho odpor závisí na hodnote indukcie magnetického poľa. [44]



Obr. 15) Elektronická súčiastka magnetorezistor [45]

Magnetoodporový jav je závislý na kryštalografickej orientácii použitého materiálu. Najčastejšie používaným materiálom u magnetorizistorov je polovodičová doštička, často InSb, v ktorom sú prímеси NiSb. Bez prítomnosti magnetického poľa prúd prechádza polovodičom najkratšou cestou. Avšak, v prítomnosti magnetického poľa s rastúcou magnetickou indukciou aj lineárne rastie odpor. To znamená, že keď začne pôsobiť magnetické pole, prúd prechádzajúci doštičkou sa stranovo vychýli, ako je znázornené na obrázku 16. [14] [44]



Obr. 16) Princíp vychýlenia prúdu (nárastu odporu) v polovodičovej doštičke [46]

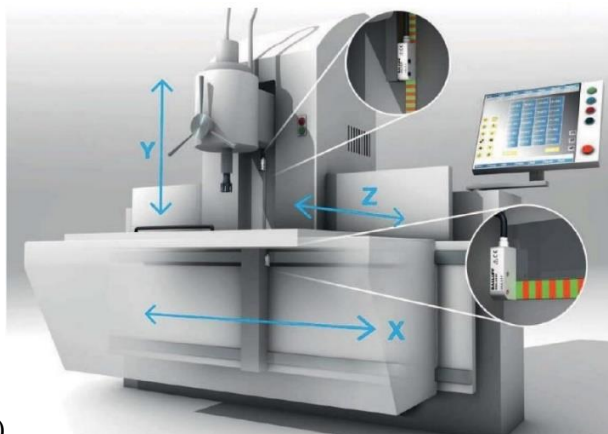
3.7.4 Výhody a nevýhody magnetických senzorov [39] [41] [47] [48]

- Relatívne veľký dosah - 120 mm
- Spoľahlivá a presná detekcia aj cez steny (nemagnetických materiálov)
- Možnosť detekcie cez iné predmety, napr. plastové alebo nemagnetické steny
- Necitlivosť voči nečistotám, prachu, vlhkosti a hmle
- Malé konštrukčné prevedenia – priestorovo úsporná inštalácia
- Odolnosť voči vyššej teplote (do 70 °C)
- Rušivosť elektromagnetickým poľom
- Cena Hallového čidla okolo 40 Kč
- Cena cylindrického senzora zhruba okolo 1300 Kč

3.7.5 Využitie a príklady implementácie magnetických senzorov [40] [47] [49]

- Zabezpečujú presnosť dráhy pohybu robotických a manipulačných zariadení

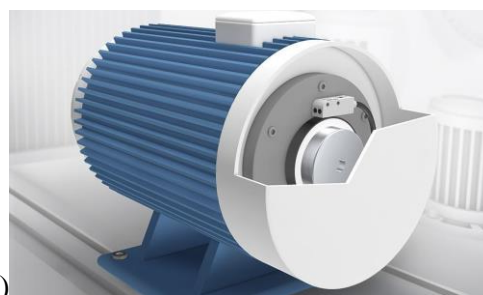
- Presné polohovanie výkyvných a lineárne posúvajúcich sa zariadení (vid'. obrázok 17)
- Použitie pri presnom posuve v obrábacích strojoch (vid'. obrázok 17)
- Snímanie polohy pneumatických piestov, hydraulických válcov, piestových čerpadiel
- Snímanie polohy cez steny
- Rozpoznanie magnetu
- Použitie na miestach, kde už indukčné snímače z hľadiska spínacej vzdialenosti nestačia



a)



b)



c)

Obr. 17) a) Meranie posuvu u obrábacích strojoch [50] b,c) Príklady implementovania magnetického rotačného enkodéra [50]

3.8 Optické senzory

Optické senzory snímajú vzdialenosť, priblíženie, detekujú prítomnosť objektov. Presnejšie ich môžeme nazývať taktiež optoelektronické senzory, alebo fotoelektronické senzory. Základnou charakteristikou je premena elektrického prúdu na elektromagnetické vlnenie (svetlo) a opačne. Použitie týchto senzorov je predovšetkým tam, kde sa vyžaduje väčšia spínacia vzdialenosť. Sú vhodné pre všetky druhy a tvary predmetov a preto ich funkčný rozsah a aplikačné možnosti zaraďujú medzi najpoužívannejšie senzory v oblasti priemyselnej automatizácie. Nevýhodou optických senzorov je menšia odolnosť voči vlhkosti, znečisteniu, prašnému prostrediu a infražiareniu. Ďalšou nevýhodou optických senzorov je obtiažnosť, až nemožnosť snímať priehľadné a priesvitné predmety. Príklad prevedenia optického senzora je na obrázku 18. [4]



Obr. 18) Optický senzor [51]

3.8.1 Princíp a činnosť optických senzorov

Princíp činnosti spočíva vo vysielaní a v detekcii existencie alebo merania intenzity svetelného lúča, dopadajúceho na prijímaciu časť senzora. Ako vysielané svetlo sa často používa infračervené svetlo s vlnovou dĺžkou $\lambda = 880 \text{ nm}$, prípadne 950 nm a svetlo s viditeľným spektrom o vlnovej dĺžke $\lambda = 660 \text{ nm}$.

Optické senzory môžeme deliť podľa spôsobu snímania na

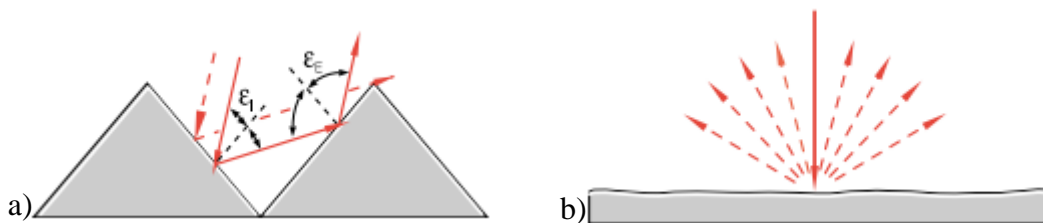
- Difúzne
- Reflexné
- Interferenčné [4] [51]

Reflexný odraz

Je spôsobovaný dvoma ktoré vzájomne zvierajú pravý uhol. Dvojitý odraz učiní, že sa svetelný lúč odrazí späť rovnakým smerom. Uhly dopadu sa tak môžu meniť pomerne v širokom rozsahu. Princíp reflexného odrazu je znázornený na obrázku 19, kde ϵ_i je uhol dopadu a ϵ_r je uhol odrazu. [52]

Difúzny odraz

Vzniká na hrubom a drsnom povrchu. Difúzny odraz môže byť predvedený na rôzne zlé odrážajúcich a rozdielne orientovaných malých zrkadlách. Prichádzajúci svetelný lúč je široko rozptýlený nad povrchom. Čím tmavší a matnejší je povrch, tým sú straty odrazu väčšie. Difúzny odraz svetelného lúča je zobrazený na obrázku 19. [52]



Obr. 19) a) Princíp reflexného odrazu svetelného lúča [52] b) Princíp difúzneho odrazu svetelného lúča [52]

Difúzny senzor

U difúzných optických senzorov meraná veličina spôsobuje moduláciu charakteristických veličín žiarivého toku. Vysielač a prijímač sa nachádza v jednom kompaktnom puzdre avšak s inak orientovanou optikou. Senzory pracujú s odrazeným svetelným lúčom priamo od snímaného objektu (nie je potrebný reflektor). [4]

Reflexná svetelná závora

U reflexných optických senzorov sa meria úroveň amplitúdy alebo svetelný výkon a porovnáva sa s nastavenou, požadovanou hodnotou. Umožňuje, nie len merať vzdialenosť, ale aj spracovávať iné optické parametre ako sú farba a kontrast. Má pomerne zhodnú konštrukciu ako difúzny senzor, taktiež obsahuje vysielateľ a prijímač v jednom puzdre vedľa seba. Aby svetlo od vysielateľa mohlo dopadnúť na prijímač, do určitej vzdialenosti je umiestnený reflektor, ktorý odrazí svetlo na prijímač. Aby na prijímač dopadlo čo najväčšie množstvo svetla, reflektor je zložený z priehľadných trojhranov, pomocou ktorých je svetelný lúč vždy odrazený do smeru z ktorého bol vyslaný. V prípade detekcie zrkadliacich predmetov, aby sa predišlo vzniku falošných signálov je vhodné použiť polarizačný filter. Polarizačný filter zabezpečuje bezpečné rozpoznávanie zrkadliacich sa a nepriehľadných predmetov. [4] [53]

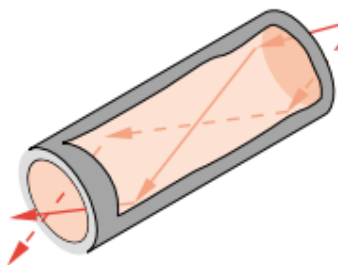
Jednocestná svetelná závora

Jednocestné optické závory sú zložené z vysielacej a prijímacej jednotky, ktoré sa nachádzajú na opačných stranách snímačej cesty. Detekovaný predmet ruší svetelný lúč a spôsobuje zopnutie prijímača. Najväčšími výhodami týchto prevedení optických senzorov je, že snímanie nie je ovplyvnené vlastnosťami povrchu detekovaného predmetu a to, že dosah snímania jednocestných závor je výrazne väčší a to až 350 m. Laserové jednosmerné závory sú používané k snímaniu veľmi malých predmetov, napr. na vzdialenosť 30 m rozlíšia predmet s priemerom 2 mm a v prípade detekovacej vzdialenosti 3 m dokážu identifikovať objekt o veľkosti 50 μm . [52] [54]

Optické vláknové senzory

Optické vlákno je nevodivý svetlovodič, ktorého úlohou je previesť svetelný lúč od zdroja k senzoru s čo najmenšími stratami. Tieto vlákna fungujú na princípe totálneho odrazu. Materiál optického vlákna je poväčšine sklo (pre vyššie teploty), prípadne plast (pre nižšie teploty). Vlákno je zhotovené z jadra a tenkostenného plášťa, ktorý je zhotovený z materiálu s nižším indexom lomu ako má jadro a vďaka tomu je jadrom prenášaný svetelný lúč (viď obrázok 20). Svetelný lúč je vždy úplne odrazený na mieste styku jadra a plášťa a nikdy nemôže opustiť vlákno v radiálnom smere. V automatizovaných alebo priemyselných aplikáciách existuje veľa prípadov kde iné senzory ako optické vláknové senzory nevyhovujú. Špecifickými výhodami optických vláknových senzorov, ktorými sa odlišujú od iných senzorov, sú napríklad:

- Odolnosť voči vysokým teplotám (až 600 °C)
- Ľahké prispôsobenie tvaru montážneho priestoru
- Komplexná odolnosť voči prostrediu a rušeniu [3] [4] [14]



Obr. 20) Prenos svetla úplným odrazom v optickom vlákne [52]

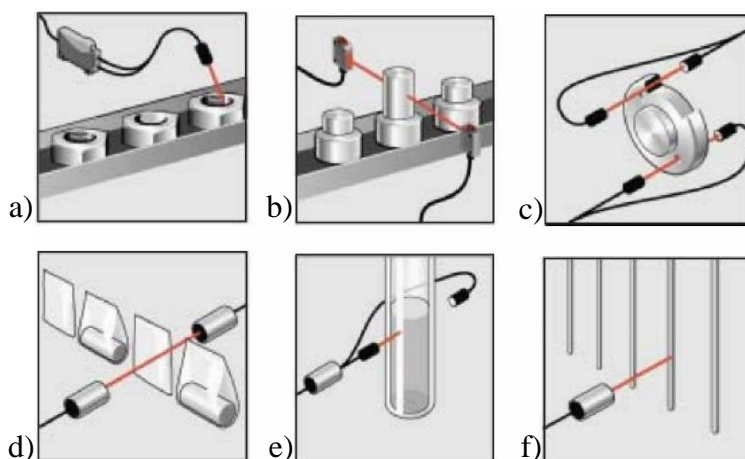
3.8.2 Výhody a nevýhody optických senzorov [51] [52]

- Veľký snímací rozsah – pre jednocestné závory okolo 50 m a pre difúzne snímače zhruba 18 m
- Vysoká prevádzková teplota (pre optické vláknové senzory do +600 °C)
- Snímanie akýchkoľvek predmetov bez ohľadu na materiál, farbu, tvar
- Možnosť detekcie aj vo vákuu
- Snímanie malých dielov
- Necitlivosť voči elektromagnetickému poľu
- Vhodné do prašného a hlučného prostredia
- Nevhodné pre snímanie priehľadných a priesvitných predmetov
- Cena reflexnej závory s dosahom 3 000 mm sa pohybuje zhruba okolo 1600 Kč

3.8.3 Využitie a príklady implementácie optických senzorov [52] [55]

- Zisťovanie chybných etikiet
- Meranie vzdialenosti
- Rozlišovanie farieb
- Detekcia drobných rozdielov kontrastu
- Doprava materiálu, detekcia posunu, nastavenie pozície v dopravníkoch
- Kontrola kvality, napr. kvalita ozubení
- Kontrola úrovne hladiny v priehľadných nádobách
- Kontrola závitov
- Počítanie predmetov na páse
- Kontrola veľkosti predmetov, chýbajúcich častí
- Kontrola obsahu priehľadných balení
- Kontrola správneho naplnenia fliaš
- Pre ochranu zdravia pri práci

Príklady niektorých implementácií sú zobrazené na obrázku 21.



Obr. 21) a) Kontrola závitov [52] b) Triedenie dielov [52]
c) Kontrola kvality obrabku [52]

d) Kontrola obsahu baliacich jednotiek [52] e) Snímanie úrovne hladiny v priehľadných nádobách [52] f) Snímanie drobných dielov [52]

3.8.4 Optický rotačný enkodér

Rotačný enkodér je rotačný snímač polohy. Patrí do automatizačnej techniky, ktorá poskytuje presné nastavenie polohy natočenia pohonov, meranie uhlovej rýchlosti otáčania alebo zrýchlenia, aby bolo zrealizovateľné správne riadenie danej aplikácie v robotike. Obecné, rotačné enkodéry prevádzajú mechanický pohyb na elektrické signály.

Bežné rotačné enkodéry delíme do dvoch skupín:

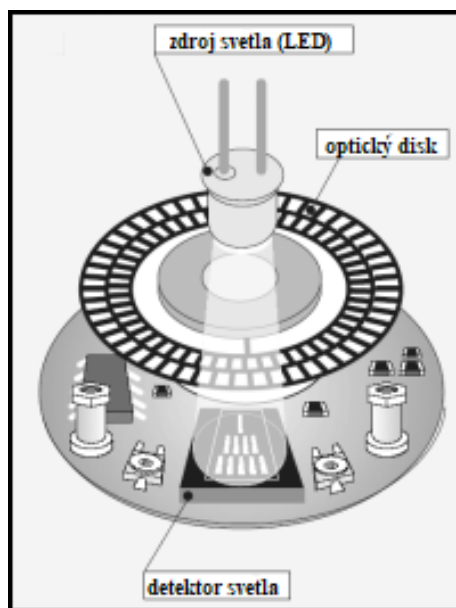
- Inkrementálne
- Absolútne [56] [57] [58]

Inkrementálne rotačné enkodéry majú konštrukčne jednoduchšie prevedenie. Poskytujú relatívnu informáciu o zmene polohy, tak že generujú pulzy, ktorých určitý počet odpovedá danej zmene pohybu. To znamená, že inkrementálne enkodéry sú charakterizované počtom pulzov na otáčku. Výstupný signál je relatívny a informuje len o zmene polohy o pevne daný minimálny krok, nie však o presnej pozícii enkodéra. Vďaka veľkej rozmanitosti variant je možné inkrementálne enkodéry optimálne prispôbiť aplikáciám v automatizácii výrobných pracovísk alebo logistiky. Využívajú sa ako sprostredkovatelia informácie o smere pohybu a rýchlosti autonómnych transportných systémov. Enkodér je namontovaný priamo na motor, na hriadeľ alebo obežné koleso. [56] [57] [58]

Absolútne rotačné enkodéry sú konštrukčne zložitejšie. Generujú kódovaný signál pre okamžitú informáciu o aktuálnej polohe, teda v každom momente je presne daný uhol natočenia v ktorom sa enkodér nachádza. Pokiaľ dôjde u absolútne rotačného enkodéra k výpadku napájania, tak informácia o polohe sa nestratí a po znovu napojení je aktuálna poloha k dispozícii na výstupe. Absolútne enkodéry nám umožňujú informácie o polohe v rámci 360 stupňov. To je dosiahnuté zakódovaním každej polohy natočenia kotúča, tzn. že ku každému určitému uhlovému rozsahu zodpovedá špecifická kombinácia impulzov. Absolútne enkodéry sa používajú v oblasti automatizácie výrobných pracovísk a logistiky pre absolútne snímanie vertikálne alebo horizontálne prevedeného rotačného pohybu. V paletizačných zariadeniach zisťujú napríklad presnú pozíciu robotickej ruky. [56] [57] [58]

Princíp a činnosť rotačných enkodérov

Systém snímania je založený na otáčaní disku, ktorý je spojený s otáčajúcou hriadeľou enkodéra a rozdelený na priehľadné a nepriehľadné okná. Na disk je kolmo svetelným zdrojom (diódou LED) vysielané svetlo, najčastejšie v infračervenom spektre, ktoré premieta obraz (tieň) disku na povrch optického snímača, ktorým je fototranzistor alebo fotodióda. Na obrázku 22 môžeme vidieť znázornený princíp snímania. Svetelný snímač transformuje svetelné zmeny vznikajúce pri pohybe kotúča na zodpovedajúci elektrický signál. [56] [57] [58]



Obr. 22) Princíp činnosti optického rotačného enkodéra [58]

4 ZÁVER

V tejto bakalárskej práci nájdeme ucelené poznatky o senzoroch využívaných v oblasti automatizácie, vypracované na základe voľne dostupnej odbornej literatúry, odborných webových článkov a taktiež informácií poskytnutých od firiem z oblasti snímačov.

Cieľom práce bolo spraviť rešerš stavu vedy a techniky priemyslových senzorov. V úvodnej časti práce je priblížená podstata a základná činnosť senzora všeobecne. V ďalšej časti boli prevedené základné delenia senzorov, ktoré sa vyskytujú na trhu podľa špecifických hľadísk. Keďže jedným z cieľov práce bolo vypracovať systémový rozbor priemyslových senzorov, tak postup pri rozbere senzorov bol vypracovaný na základe toho, aký fyzikálny princíp senzory využívajú pre svoju činnosť. Následne boli uvedené ku každému druhu senzora jeho výhody a nevýhody. Tieto vlastnosti boli hlavne podmienené tým, aký predmet je možné daným druhom senzora snímať, aké sú spínacie vzdialenosti senzorov a aké sú ich faktory rušenia merania. Ku každému druhu senzora som uviedol približnú cenu, ktorá nebola veľmi stabilná pre typický druh senzora, ale závisí taktiež hlavne od prevedenia senzora, od materiálu puzdra, spínacej frekvencie a od samotného výrobcu. Na koniec ku každému druhu senzora boli uvedené najčastejšie príklady aplikácií v praxi.

Táto bakalárska práca mala pomôcť čitateľovi ľahšie porovnať druhy senzorov, získať základné informácie o ich činnosti spolu s ich hlavnými výhodami a nevýhodami. Tieto aspekty v prípade potreby by mohli čitateľovi získať predstavu a pomôcť aspoň trochu pri výbere správneho typu senzora pre potrebnú aplikáciu.

Automatizáciu v priemysle je v dnešnej dobe možné riešiť s pomocou množstva typov a rôznych druhov senzorov. Firmy ponúkajú široké spektrum ponuky senzorov pre rôzne použitia a pre rôzne podmienky pracoviska, ktoré musí senzor spĺňať.

Pre ďalšie rozšírenie práce by bolo vhodné rozšíriť a hlbšie priblížiť magnetické rotačné a lineárne enkodéry a hlbšie prebrať tému využitia senzorov v oblasti automatizácii obrábacích strojov.

5 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- Úvodné informácie a delenie snímačov: *Daily Automation, s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/uvodne-informacie-a-delenie-snimacov/>
- Snímače a snímanie: *Katedra leteckej technickej prípravy (KLTP) v Košiciach* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/8>
- HRUŠKA, František. *SENZORY: Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití* [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, 2011 [cit. 2019-05-19]. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: <https://docplayer.cz/17879918-Zlin-2011-senzory-fyzikalni-principy-upravy-signalu-prakticke-pouziti-frantisek-hruska.html>
- BENEŠ, Pavel, Josef JANAČEK, Jindřich KRÁL et al. *Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace*. 1. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3628-7.
- ADÁMEK, Martin, Radim VRBA, Ján JAROŠ, Edita HEJÁTKOVÁ a Ján PRÁŠEK. *Úvod do problematiky senzorové techniky* [online]. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií, VUT, 2002 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_1.htm
- GEMERI, Dominik. *Návrh senzorického vybavenia v inteligentnej montážnej bunke*. Trnava, 2011. Diplomová práca. MTF STU. Vedoucí práce Ing. Roman Ružarovský, PhD.
- ORLÍKOVÁ, Soňa. *Inteligentní senzory* [online]. In: . Ústav automatizácie a meracej techniky, FEKT, VUT Brno, b.r. [cit. 2019-05-19].
- Senzor absolutného a relatívneho tlaku YOKOGAWA EJX510A. In: *JSP Industrial Controls* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorie/snimace_tlaku_a_tlakove_diference/snimace_tlaku_a_tlakove_diference/snimace-absolutniho-relativniho-tlaku-yokogawa-ejx510a-ejx530a.html
- Tlakový senzor z nerezovej ocele MSD 40 BRE Greisinger. In: *Conrad s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.conrad.sk/tlakovy-senzor-z-nerezovej-oceli-msd-40-bre-greisinger-603328-na-tlakomery-gmh-31xx-gdusb-1000.k105158>
- VOJÁČEK, Antonín. *Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis*. In: *Autotamizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>

- Indukční senzory: Turck, s.r.o. *Turck.de* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000010002461b00030023>
- Indukční snímače: Balluf CZ, s.r.o. In: *Balluff.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/sk/products/sensors/inductive-sensors/>
- Indukční snímače: Daily Automation, s.r.o. *Dailyautomation.sk* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/indukcne-snimace/>
- MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. Praha: BEN-Technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- Theory of operation of Inductive Proximity Sensors: PLC-SCADA-DCS, Industrial Automation* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://plc-scada-dcs.blogspot.com/2015/05/theory-or-operation-of-inductive.html#axzz5oNALghU1>
- Indukční snímače. *S-d-a.sk* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.s-d-a.sk/index.php/sk/vyrobcovia/balluff/indukcne-snimace-2>
- VOJÁČEK, Antonín. *Aplikace pro indukční senzory s analog. výstupem: automatizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/view.php%3Fcislocianku%3D200508310>
- Inductive Proximity Sensor Applications in Automation industry: PLC-SCADA-DCS, Industrial Automation. *Plc-scada-dcs.blogspot.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://plc-scada-dcs.blogspot.com/2015/05/inductive-proximity-sensor-applications.html>
- Speed and acceleration always under control with SAM inductive proximity sensor: sickinsight-online.com* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.sickinsight-online.com/speed-and-acceleration-always-under-control-with-sam-inductive-proximity-sensor/>
- VOJÁČEK, Antonín. Kapacitní senzory přiblížení. *Autotamizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005101001>
- Kapacitní senzory. *Eatonelektrotechnika.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/kapacitni-senzory.html>
- Kapacitní senzory: Turck, s.r.o. In: *Turck.de* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/0000000120001ef6600010023>
- Capacitive sensing. In: *Machinedesign.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/sensors/proximity-sensors-compared-inductive-capacitive-photoelectric-and-ultrasonic>
- Kapacitní snímače: SICK spol, s.r.o. *Sick.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/kapacitni-snimace/c/g201659>
- Kapacitní snímače: Balluff CZ, s.r.o. Balluff.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/local/cz/products/sensors/capacitive-sensors/>

- Kapacitní senzory: *schmachtl.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [26] <https://www.schmachtl.cz/oblasti-spinaci-technika-kapacitni-senzory>
- MOERMOND, Jack. Direct sensing mount: automation-insights.blog* [online]. [27] In: . b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automation-insights.blog/2015/05/06/direct-vs-indirect-mounting-of-capacitive-sensors/>
- Kapacitné snímače: Daily Automation, s.r.o. [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [28] Dostupné z: <http://dailyautomation.sk/kapacitne-snimace/>
- VOJÁČEK, Antonín. Ultrazvukové senzory přiblížení. *Automatizace.hw.cz* [29] [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005110201>
- Ultrazvukové senzory: Turck, s.r.o. *Turck.de* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [30] Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000000002c43b00040023>
- Ultrazvukové snímače: SICK spol, s.r.o. *Sick.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [31] Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/ultrazvukove-snimace/c/g185671>
- Ultrasonic: NIHON DEMPA KOGYO CO., LTD. In: *Ndk.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [32] Dostupné z: <https://www.ndk.com/en/sensor/ultrasonic/index.h>
- Ultrazvukové senzory přiblížení - funkce, provedení, použití. *Autotamizace.hw.cz* [33] [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- Ultrazvukové snímače UM30: SICK spol, s.r.o. *Sick.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [34] Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/ultrazvukove-snimace/um30/c/g185672>
- All-purpose Ultrasonic Digital Sensors. *Keyence.eu* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [35] Dostupné z: <https://www.keyence.eu/products/sensor/positioning/fw/features/index.jsp>
- Ultrasonic Sensor Applications in Automation industry: PLC-SCADA-DCS, Industrial Automation. In: *Plc-scada-dcs.blogspot.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. [36] Dostupné z: <http://plc-scada-dcs.blogspot.com/2015/05/ultrasonic-sensor-applications-in.html#axzz5oNALghU1>
- Ultrasonic Sensors: *Radiant Technologies / Industrial Automation*. In: *Radiantautomation.com* [37] [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://radiantautomation.com/ultrasonic-sensors.html>
- DAY, Shawn. *Solve Difficult Sensing Applications with Ultrasonic Technology*: [38] *automation-insights.blog* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://automation-insights.blog/2017/09/06/differential-measurement-with-ultrasonic-sensors/>
- Magnetické senzory. *Schmachtl.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [39] <https://www.schmachtl.cz/magneticke-senzory>

- Magnetické senzory přiblížení - 1. díl. Autotamizace.hw.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://autotamizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni.html>
- Magnetické senzory: ifm *electronic*, s r.o. Ifm.com [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.ifm.com/cz/cs/category/010/010_030
- Princip Hallova senzoru. E-konstrukter.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/princip-hallova-senzoru>
- DU, Wincy Y. Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies [online]. Boca Raton: CRC Press, 2015 [cit. 2019-05-19]. Sammlung romanischer Übungstexte, 2. ISBN 978-1-4398-1249-5. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=w4zaBAAQBAJ&pg=PA184&dq=magnetic+sensor&hl=sk&sa=X&ved=0ahUKEwjH6quI0cfhAhXj2eAKHeX0AHAQ6AEIKDAA#v=onepage&q=magnetic%20sensor&f=false>
- GARZINOVÁ, Romana. *Prvky řídicích systémů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012 [cit. 2019-05-19]. ISBN 978-80-248-2581-6.
- SM351LT, Honeywell: Magneto-resistive (MR) Sensor. In: Onlinecomponents.com [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.onlinecomponents.com/honeywell/sm351lt-45572908.html>
- VOJÁČEK, Antonín. Magnetické senzory přiblížení - 2. díl. In: Autotamizace.hw.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://autotamizace.hw.cz/magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip>
- Magnetické snímače: Všeobecný popis, princip funkce. In: S-d-a.sk: [PDF] [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.s-d-a.sk/images/balluff/pdf/magnet/bmf-principy.pdf>
- Magnetické snímače MM: Magnetické přibližovací senzory v metrickém pouzdru. Sick.com [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/magneticke-snimace/mm/c/g208598>
- Magnetické senzory přiblížení. Autotamizace.hw.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://autotamizace.hw.cz/clanek/2006012901>
- VOJÁČEK, Antonín. Absolutní zpětnovazební magnetické měření polohy a pohybu. Autotamizace.hw.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://autotamizace.hw.cz/absolutni-zpetnovazebni-magneticke-mereni-polohy-a-pohybu.html>
- Optické snímače: AXIMA, spol. s r.o. In: Axima-obchod.sk [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.sk/opticke-snimace-a-kamerove-systemy/opticke-snimace>
- Optoelektronické snímače: Balluf CZ s.r.o. : PDF [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.s-d-a.sk/balluff/pdf/opticke/opto-principy-cz.pdf>

- KOŠTÁL, Adam. Moderní optické snímače. Brno, 2006. *Bakalárska práca*.
- [53] *Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně*. Vedoucí práce Dr. Ing. Radovan Kukla.
- ŠIKUT, Karel. Optické závory *pro detekci* objektů. Automa.cz: [PDF] [online].
- [54] b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/40383.pdf
- Optické senzory: Oblasti použití. Eatonelektrotechnika.cz [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/opticke-senzory.html>
- Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu. *Autotamizace.hw.cz* [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-rizeni-pohonu-a-pohybu.html>
- Přehled a použití enkodérů *a snímačů náklonu*. Sick.com [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/prehled-a-pouziti-ekoderu-a-snimacu-naklonu/w/encoders-definition/>
- Rotační enkodéry ELTRA. *Odbornecasopisy.cz: SCHMACHTL CZ, s. r. o.*
- [58] [online]. b.r. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/rotacni-ekodery-eltra--13671>

6 ZOZNAM SKRATIEK A OBRÁZKOV

6.1 Zoznam skratiek

DC	Direct Current – jednosmerný prúd
A/D	analógovo digitálny
ABS	Anti-block Braking System – antiblokovací systém
ESP	Electronic Stability System – elektronický stabilizačný systém
InSb	Antimonid inditý
NiSb	Breithauptit
LED	Light Emitting Diode - Luminiscenčná dióda

6.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1) Základný princíp senzora	15
Obr. 2) Bloková schéma senzora	17
Obr. 3) a) Bloková schéma inteligentného senzora b) Porovnanie inteligentného senzora so starším prevedením	18
Obr. 4) Prevedenia indukčných senzorov	19
Obr. 5) a) Priebeh magnetických siločiar u čela indukčného senzora bez kovovej clonky a s kovovou clonkou (prerušovaná čiara) b) Zmena amplitúdy elektromagnetického poľa cievky v prítomnosti kovového objektu	20
Obr. 6) a) Kontrola zlomeného vrtáku] b) Detekcia otvoreného alebo zatvoreného ventilu c) Kontrola vyosenia d) Monitorovanie rýchlosti a zrýchlenia.....	21
Obr. 7) Kapacitný senzor	22
Obr. 8) Princíp činnosti kapacitného senzora	22
Obr. 9) a) Kontrola obsahu krabíc b) Nepriame (cez stenu nádoby) sledovanie stavu hladiny c) Kontrola správnej pozície uzáveru d) Priame sledovanie stavu hladiny	23
Obr. 10) Ultrazvukové senzory	24
Obr. 11) a) Princíp ultrazvukového senzora b) Princíp ultrazvukovej detekcie objektu vyslaním zvukového pulzu a detekciou odrazenej odozvy	25
Obr. 12) a) Kontrola kvalityb) Detekcia vozidla a kontrola správnej pozície c) Sledovanie úrovne hladiny d) Snímanie výšky stohu e) Monitorovanie pretrhnutia káblu f) Monitorovanie previsu a odvíjania fólie.....	26
Obr. 13) Rôzne prevedenia magnetických senzorov	26
Obr. 14) Princíp Hallovho javu.....	27
Obr. 15) Elektronická súčiastka magnetorezistor]	28
Obr. 16) Princíp vychýlenia prúdu (nárastu odporu) v polovodičovej doštičke.....	28
Obr. 17) a) Meranie posuvu u obrábacích strojoch b,c) Príklady implementovania magnetického rotačného enkodéra.....	29
Obr. 18) Optický senzor.....	30
Obr. 19) a) Princíp reflexného odrazu svetelného lúča b) Princíp difúzneho odrazu svetelného lúča.....	30
Obr. 20) Prenos svetla úplným odrazom v optickom vlákne.....	31

Obr. 21) a) Kontrola závitov b) Triedenie dielov c) Kontrola kvality obrobku d) Kontrola obsahu baliacich jednotiek e) Snímanie úrovne hladiny v priehľadných nádobách f) Snímanie drobných dielov	32
Obr. 22) Princíp činnosti optického rotačného enkodéra	34